Clase 18

Corriente y Resistencia

Corriente eléctrica

Los campos eléctricos pueden hacer que las cargas comiencen a moverse y se mantengan en movimiento. En las adecuadas circunstancias por una región del espacio puede existir un flujo de carga durante un intervalo finito de tiempo. Esta situación se relaciona con interesantes fenómenos físicos que comenzaremos a explorar a partir de ahora. Para eso se introduce el concepto de corriente eléctrica.

Corriente eléctrica

Dada una superficie orientada definimos la corriente I que la atraviesa como el flujo neto de carga positiva que la cruza en una determinada dirección por unidad de tiempo. Así

$$I = \frac{dq}{dt}$$

donde dq es la carga que atraviesa esa cierta superficie en el intervalo de tiempo dt en la dirección escogida. La carga positiva que atraviesa la carga en la dirección contraria contribuye con signo opuesto a la corriente. Correspondientemente la carga negativa que atraviesa la superficie en la primera dirección da lugar a corriente negativa y la que circula en la dirección opuesta genera corriente positiva. La corriente puede ser constante o variable en el tiempo. En un sistema conectado por alambres conductores la carga fluye de los puntos a mayor potencial hacia los puntos a menor potencial y la corriente se establece siguiendo los contornos de los conductores. Si tomamos superficies perpendiculares a los conductores en distintos puntos del recorrido encontraremos el mismo valor de la corriente. La corriente eléctrica en el sistema internacional se mide en amperios.

$$[I] = A = \frac{C}{s}$$

Vamos a posponer la definición del amperio hasta cuando estudiemos la relación de la corriente eléctrica con los fenómenos magnéticos.

Vector densidad de corriente

La intensidad de corriente no da una medida de la forma en que la carga circula localmente en una parte del conductor. Esto lo podemos obtener si definimos el vector densidad de corriente $\vec{\mathbf{j}}(\vec{\mathbf{r}})$ de forma que la corriente dI que atraviesa una una superficie infinitesimal dS que pasa por el punto $\vec{\mathbf{r}}$ sea

$$dI = \vec{\mathbf{j}}(\vec{\mathbf{r}}).\mathbf{d}\vec{\mathbf{S}} \quad \rightarrow \quad I = \int_S \vec{\mathbf{j}}(\vec{\mathbf{r}}).\mathbf{d}\vec{\mathbf{S}}$$

Si consideramos una superficie que sea perpendiculara al vector densidad de corriente en cada punto, la corriente a través de la misma será nula. En el caso en que la corriente circula uniformemente en todo el conductor, el vector densidad de corriente es constante. En ese caso si S es una superficie perpendicular a $\vec{j}$ la corriente y el módulo de $\vec{j}$ se relacionan por

$$I = |\vec{j}|S$$

En un material conductor los iones positivos de los átomos se ordenan en una red tridimensional dejando que algunos de los electrones de la capa mas externa de cada átomo, llamados electrones de conducción se difundan en los intersticios. El comportamiento real de los electrones dentro del conductor depende de sus propiedades como partículas cuánticas y es descrito por la mecánica cuántica. Podemos sin embargo construir un modelo semi-clásico que aprehende algunas de sus características principales. En ese modelo visualizamos a los electrones como partículas puntuales cargadas que interactúan con los iones de la red del conductor. En ausencia de campo eléctrico los electrones se mueven dentro del conductor en direcciones aleatorias tal como lo harían las partículas de un gas dentro de un recipiente. Al establecer un campo eléctrico dentro del conductor electrones de conducción se mueven con preferencia en sentido opuesto al campo de forma que estadísticamente adquieren una velocidad de módulo v_d en esa dirección. Esta es la llamada velocidad de arrastre. Simplificando aún mas el modelo podemos pensar que la corriente eléctrica se establece porque todos los portadores de carga se mueven efectivamente con la velocidad de arrastre en la dirección de la corriente y con el mismo sentido si tienen carga positiva y sentido opuesto si tienen carga negativa.

Consideremos un conductor de sección transversal constante por el que circula uniformemente una corriente I. Sea n el número de portadores de carga por unidad de volumen. Consideremos la superficie A de una de las secciones transversales y una rebanada de longitud infinitesimal $v_d \Delta t$ adyacente a ella. Transcurrido el tiempo Δt todos los portadores de carga habrán atravesado la superficie para totalizar una carga $\Delta q = neAv_d\Delta t$, siendo e la carga eléctrica de las partículas. La corriente eléctrica será entonces

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = nAv_d \ .$$

El vector densidad de corriente tiene módulo $j = nev_d$ y podemos escribir,

$$\vec{\mathbf{j}} = ne\vec{\mathbf{v}}_d \ .$$

Ejemplo 51: Alambre de plata.

Por un alambre de plata circula una corriente de $10\,A$. Encontrar la magnitud del vector densidad de corriente y la velocidad de arrastre de los electrones en el conductor.

El alambre tiene un numero atómico $Z = 47$, una masa atómica $A = 107{,}9$ y una densidad de $10,5\ \frac{gr}{cm^3}$. El área de la sección transversal es de $0,00785cm^3$. La densidad de corriente,

$$j = \frac{I}{A} = 1274\frac{A}{cm^2}$$

Un mol de plata ocupa un volumen de $(107,9/10,5)cm^3 = 10,28cm^3$ y tiene $N_A = 6,023 \times 10^{23}$ partículas. El número n de portadores de carga por cm^3 aceptando que la plata tiene un portador de carga libre por átomo es $n = N_A/10,28\ electrones/cm^3$. La velocidad de arrastre será:

$$v_d = \frac{j}{ne} = \frac{1274}{5,86 \times 1,602} \times 10^{-3}\frac{cm}{s} = 1,3\frac{cm}{s}$$